



**SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

GPC - 31
16 a 21 Outubro de 2005
Curitiba - Paraná

**GRUPO V
GRUPO DE ESTUDO DE PROTEÇÃO, MEDIÇÃO E CONTROLE EM SISTEMAS DE POTÊNCIA - GPC**

O IMPACTO DA CONEXÃO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO DESEMPENHO DAS PROTEÇÕES DE LINHAS DE TRANSMISSÃO

Newton José de Salles *

Paulo Cesar Scarassati

Ricardo Luís Abboud

CPFL

CPFL

SEL

RESUMO

Com o crescente aumento dos pedidos de conexão de produtores independentes de energia (PIEs), as áreas de estudos de proteção das concessionárias de energia elétrica vêem-se diante do desafio de buscar soluções que conciliem interesses técnicos e comerciais, porém procurando atender os procedimentos de rede e as normas de proteção dos componentes do sistema elétrico interligado.

Diante deste cenário, o presente trabalho tem por objetivo apresentar um estudo de caso real, cujo conteúdo aponta critérios de análise e propõe soluções que foram adotadas para minimizar o impacto da geração distribuída no desempenho das proteções de linhas de transmissão.

PALAVRAS-CHAVE

Proteção, Controle, Impacto, Geração Distribuída, Teleproteção.

1.0 - INTRODUÇÃO

No caso estudado, o cenário de cogeração é formado por um conglomerado de usinas de açúcar e álcool, conforme mostra a Figura 1, que responde com uma potência sincronizada da ordem de 149,25 MVA, sendo que cada uma destas usinas está geograficamente localizada em áreas diferentes e ligada em diferentes pontos ao longo da linha de transmissão (LT) Iguapé – Caiçara 138 kV de propriedade da CPFL. A linha tem aproximadamente 103 km de extensão, em condutores CAA 336,4 MCM LINNET, suportada por estruturas metálicas do tipo K1, com relés eletromecânicos no terminal de Caiçara e estáticos no terminal de Iguapé, compondo um esquema de teleproteção do tipo comparação direcional que utiliza um enlace de microondas analógico; posteriormente, estes relés foram substituídos por relés de tecnologia digital com capacidades de processamento e de comunicação necessárias à configuração das lógicas de proteção, comando e controle, exigidas em função de minimizar o impacto dos PIEs nas proteções dos terminais de linha da concessionária.

Do montante da potência sincronizada informada, distribuída em diversos pontos da linha (conexão em tape de linha simples), tem-se a seguinte distribuição referente aos acessantes, a saber: 33 MVA estão alocados na Usina Santo Antônio, 72,5 MVA na Usina Santa Elisa, 18,75 MVA na Usina Pitangueiras e 25 MVA na Usina Viralcool; a partir de 2005, com a entrada em operação da Usina MB (65 MVA), a potência sincronizada com a concessionária totalizará 214,25 MVA. Logo, torna-se necessária a elaboração de estudos detalhados de fluxo de potência, curto-circuito e estabilidade transitória, em complemento aos estudos de proteção, com a finalidade de avaliar o comportamento dos relés de proteção dos terminais de linha da concessionária, diante dos vários cenários de crescimento da geração distribuída.

No que se refere aos estudos de proteção, foram simuladas várias contingências com o auxílio de uma ferramenta computacional gráfica, mais especificamente com a utilização do programa "Oneliner" da "Advanced Systems for

Power Engineering, Inc.” – ASPEN, para os mais variados tipos de faltas e configurações operativas, sempre considerando o grupo vetorial de ligação do transformador elevador, montante de exportação contratado e a disposição dos demais equipamentos de potência do PIE.

Ao final de cada análise são apontados os impactos nas proteções dos terminais de linha da concessionária, bem como são discutidos os esquemas de proteção adotados e a definição dos ajustes implantados nos relés de proteção. Não obstante, serão considerados para efeito de análise econômica os custos oriundos do “retrofit” do sistema de proteção, comando e controle, nas instalações da concessionária.

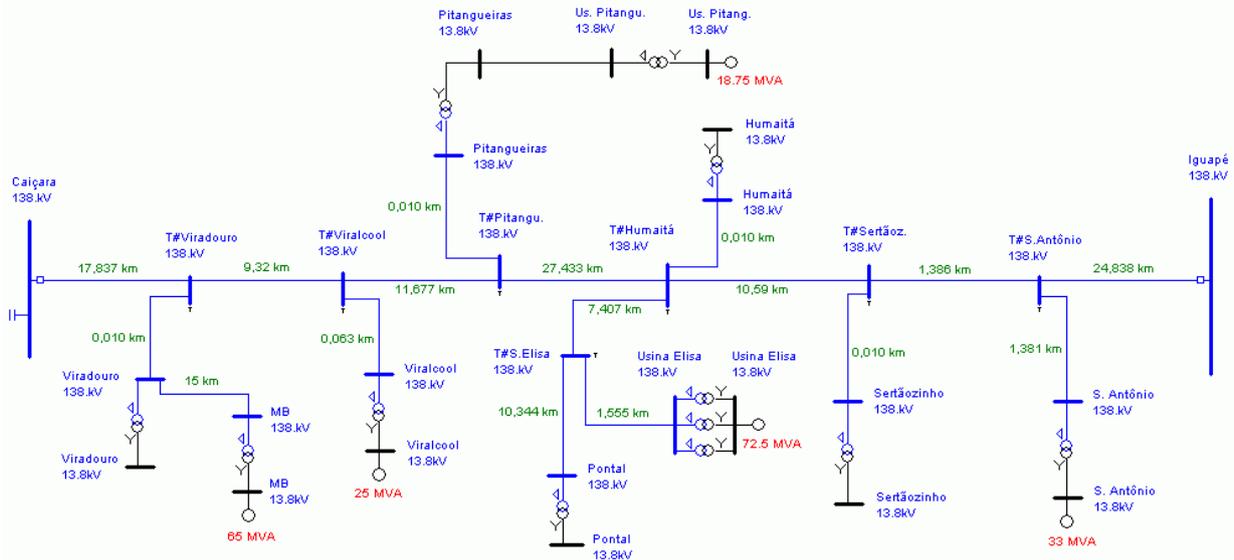


FIGURA 1 – Diagrama unifilar da LT Iguapé-Caiçara 138 kV

2.0 - ESTUDO DE FLUXO DE POTÊNCIA

O estudo de fluxo de potência, com base nas cargas e gerações da Tabela 1, realizado com o programa ANAREDE do CEPEL (caso base de dezembro/2005 – carga pesada), normalmente não é utilizado pelas áreas de estudos da proteção, por tratar-se de uma tarefa específica das áreas de operação e planejamento. O objetivo do estudo de fluxo de potência é fornecer as condições iniciais de regime permanente (tensões nas barras e fluxos de potência ativa e reativa através dos ramos da rede) para a preparação das simulações dos transitórios de manobra, em decorrência das faltas aplicadas ao longo da linha de transmissão estudada.

As simulações dos transitórios, executadas com o auxílio do “Alternative Transients Program” – ATP, visam gerar os sinais de tensão e corrente a serem medidos pelas proteções dos terminais de linha, em Caiçara e Iguapé, para os diversos tipos de faltas: faltas entre fases e entre fases e a terra. A partir destas simulações, pode-se verificar a excursão da impedância de falta pelo plano de impedância complexa, e avaliar o comportamento da característica de impedância das zonas das proteções de distância (ANSI 21).

2.1 Dados das barras

TABELA 1

Barras	Carga		Shunt MVar	Geração MW
	MW	MVar		
Pontal 138 kV	23,16	6,32	0,00	0,00
Iguapé 138 kV	0,00	0,00	0,00	0,00
Sertãozinho 138 kV	18,45	7,72	0,00	0,00
Caiçara 138 kV	52,70	16,60	30,5	0,00
Pitangueiras 13,8 kV	7,52	1,80	0,00	3,0
Viradouro 138 kV	6,22	1,50	0,00	0,00
UTE Viralcool 138 kV	0,00	0,00	0,00	6,0
UTE Santo Antônio 138 kV	0,00	0,00	0,00	15,5
UTE MB 138 kV	0,00	0,00	0,00	27,0
UTE Santa Elisa 138 kV	0,00	0,00	0,00	30,0

3.0 - ESTUDOS DE CURTO-CIRCUITO E DE PROTEÇÃO

O estudo de curto-circuito tem a finalidade de determinar a magnitude das correntes de falta em vários pontos do sistema de potência, segundo os diversos tipos de faltas (trifásica, bifásica, bifásica-terra e fase-terra). As

correntes de falta calculadas são usadas para determinar a capacidade de interrupção dos equipamentos de manobra, tais como chaves e disjuntores, assim como para a definição dos ajustes das proteções instaladas nos terminais de linha da concessionária.

A adição de geração distribuída ao longo da linha, se conectada através de ramais em derivação, além de aumentar o nível da corrente de curto-circuito que deverá ser interrompida pelos disjuntores, representa um problema para o ajuste das proteções dos terminais. Basicamente, as proteções dos terminais de linha da concessionária são constituídas de relés eletromecânicos do tipo distância de fase (ANSI 21), distância de terra (ANSI 21N) e sobrecorrente direcional de terra (ANSI 67N).

Os relés de distância, um para cada zona, com característica do tipo admitância ou MHO, são ajustados para detectar e eliminar qualquer tipo de falta entre fases, e entre fases e a terra. A impedância medida pelo relé é uma função dos sinais relativos à queda de tensão entre a localização do relé e o ponto de falta, e a corrente da linha aplicada em seus terminais; logo, a impedância vista pelo relé depende da contribuição de corrente das outras fontes conectadas ao longo da linha, denominando-se de “infeed” o efeito produzido na redução do alcance da proteção de distância, ou subalcance.

O relé de sobrecorrente direcional de terra é ajustado para detectar e eliminar faltas entre fases e a terra, porém com maior sensibilidade que os relés de distância. Um esquema de proteção de distância a três zonas ajustadas para a proteção da LT Iguapé – Caiçara 138 kV, cuja configuração operativa inicialmente não previa a entrada de PIEs, é mostrado na Figura 2, onde o escalonamento de zonas determina que o alcance da zona 3 é maior que o alcance da zona 2, que possui maior alcance que o da zona 1; pode-se ver, também, a região da zona de carga hachurada em azul.

A zona 1, instantânea, foi ajustada para cobrir 80% da impedância de seqüência positiva da linha, enquanto que as demais zonas, temporizadas, foram ajustadas para sobrealcance o terminal remoto. A zona 2 foi ajustada para enxergar 120%, no mínimo, da impedância da linha, porém sem sobrealcance a linha mais curta que deriva do terminal remoto; a zona 3 foi ajustada para uma impedância de carga limitada a, no máximo, 70% do carregamento em regime de emergência.

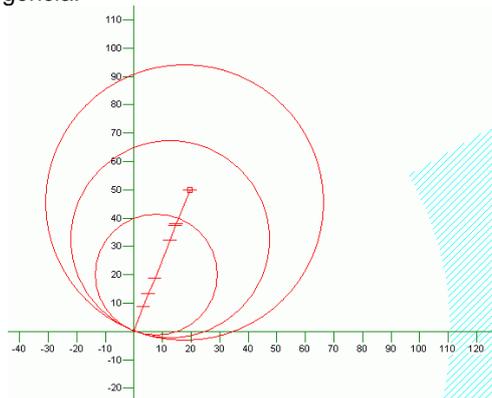


FIGURA 2 – Escalonamento de zonas da proteção de distância

Um ponto importante da norma de conexão da CPFL é o de não permitir a ligação do enrolamento primário de alta tensão, do transformador elevador do PIE, em estrela aterrado. Essa medida visa inibir o “infeed” das correntes de seqüência zero que seriam injetadas na linha para uma falta fase-terra; porém, durante faltas à terra verifica-se o aparecimento de sobretensões nas fases sãs que não tem envolvimento com o defeito.

Devido a ausência do “infeed” das correntes de seqüência zero, o alcance da proteção de distância para faltas à terra, quando devidamente compensado, não apresenta um subalcance significativo se comparado àquele correspondente às faltas entre fases.

As análises a seguir procuram mostrar o efeito que o “infeed” produz na impedância aparente vista pela proteção 21 de Caiçara, aplicando-se sucessivas faltas trifásicas ao longo da linha, e variando a distância entre as faltas de 1% do comprimento da linha, desde Caiçara até Iguapé. Escolheu-se monitorar a proteção 21 de Caiçara, pois a barra de Caiçara apresenta menor potência de curto-circuito que a barra de Iguapé; logo, mais vulnerável ao efeito do “infeed”.

As simulações foram realizadas com o programa “Oneliner” da ASPEN, através de uma rotina escrita na linguagem BASIC (“script”), considerando a rede operando em vazio (cargas desprezadas), e para duas situações distintas: sem geração conectada e com geração em paralelo.

A Figura 3 mostra nitidamente o efeito da geração ao longo da linha em reforçar o perfil de tensão na barra de Caiçara, principalmente quando a falta se aproxima da barra de Iguapé. Vê-se, a partir de 30% da barra de Caiçara, o efeito pronunciado do reforço de tensão em contribuir para a melhoria da qualidade de energia; o máximo reforço acontece quando a falta trifásica está a 90% da barra monitorada, isto em virtude da posição dos ramais de derivação dos PIEs.

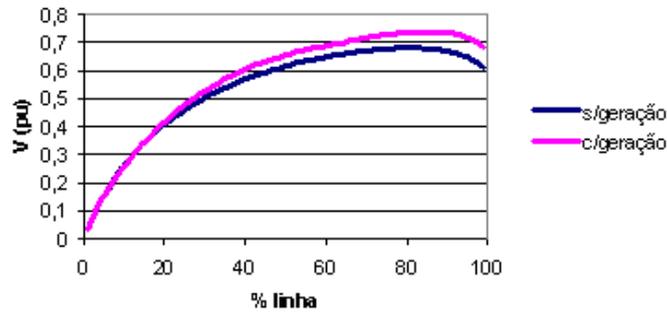


FIGURA 3 – Perfil de tensão na barra de Caiçara

Outro aspecto de interesse é quanto à magnitude da corrente de contribuição que sai da barra de Caiçara para o ponto de falta, na presença de geração dispersa ao longo da linha. Conforme mostra a Figura 4, a magnitude da corrente vai diminuindo à medida que a falta aproxima-se da barra de Iguapé, uma vez que Caiçara não contribui sozinha com a corrente de falta total.

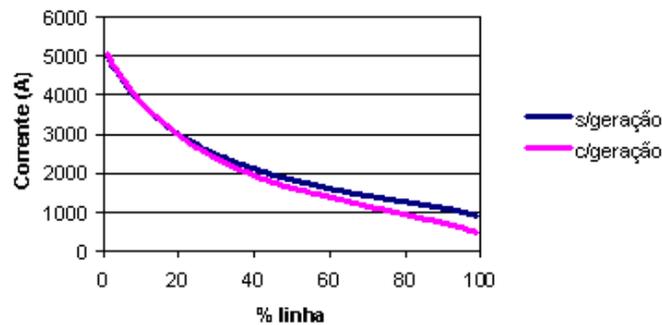


FIGURA 4 – Corrente de contribuição de Caiçara

Relacionando tensão e corrente, para cada ponto de aplicação da falta trifásica, é possível traçar o gráfico da impedância aparente vista por Caiçara, mostrando a variação do módulo da impedância complexa ao longo da linha, vide Figura 5-(a), bem como a trajetória da impedância no plano complexo, vide Figura 5-(b). A diferença entre os módulos das impedâncias, processadas sem geração e com geração distribuída, representa para a proteção 21 um subalcançe, uma redução no alcance em relação à localização da falta, considerando que o alcance da proteção é um parâmetro fixo e ajustado para uma configuração operativa previamente definida.

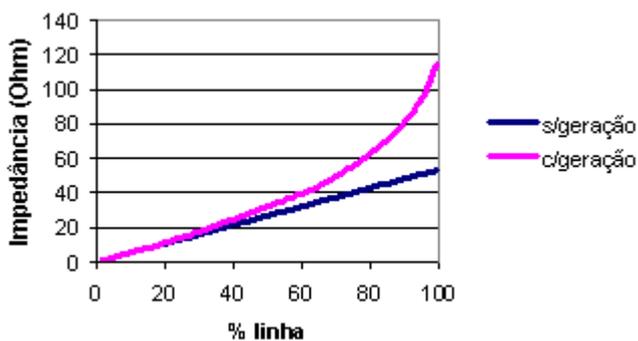


FIGURA 5-(a)

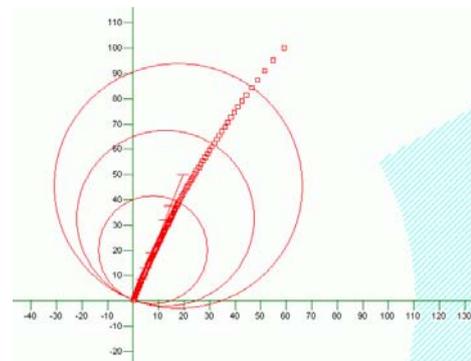
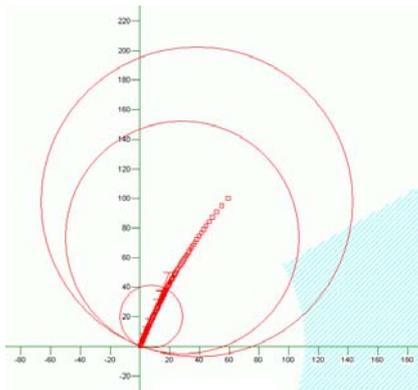


FIGURA 5-(b)

Adota-se, como medida de contorno do subalcançe provocado pelo “infeed”, aumentar os alcances da zona 2 e da zona 3, a fim de que essas zonas sobreponham-se a impedância aparente; no entanto, a zona 3 passou a entrar dentro da zona de carga, conforme mostra a Figura 6-(a), e certamente haverá atuação da proteção se nada for feito. A aplicação de relés de proteção com característica de bloqueio por zona de carga (“Load Encroachment”) foi a solução encontrada para permitir o aumento do alcance da proteção 21.

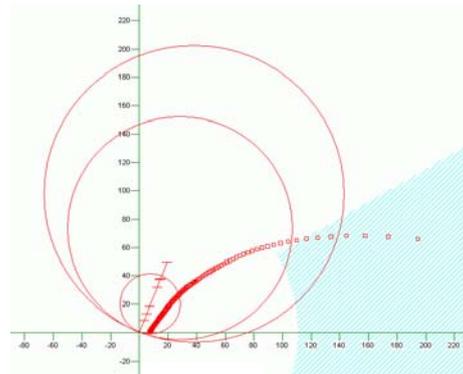
Os alcances ajustados estão no limite máximo permitido, pois se aumentados, ainda mais, haverá perda de seletividade com as zonas de proteção das linhas adjacentes que saem do terminal remoto; podendo, também, ocorrer atuações indevidas para faltas entre fases nos secundários dos transformadores de potência das subestações de distribuição que estão ligadas em derivação.

Nota-se, que aplicando uma falta trifásica no terminal remoto, com resistência de falta igual a 5Ω , conforme mostra a Figura 6-(b), que a proteção 21 não é sensibilizada, mesmo tendo sido aumentado o alcance da zona 3. Essa situação demonstra o quanto é prejudicial para o sistema de proteção a conexão de geração distribuída ao longo da linha, uma vez que o alcance da proteção não pode ser aumentado a revelia das condições de carregamento e dos critérios de seletividade.



$R_f = 0 \Omega$

FIGURA 6-(a)



$R_f = 5 \Omega$

FIGURA 6-(b)

Conforme mencionado, anteriormente, a CPFL não admite que o enrolamento de alta tensão do transformador elevador do PIE tenha qualquer ponto de conexão com a terra evitando, desta maneira, o "infeed" das correntes de seqüência zero. A conexão de fontes de seqüência zero ao longo da linha tende a reduzir a impedância equivalente de seqüência zero das barras terminais; reduzindo, também, a tensão de polarização de seqüência zero ($3V_0$) disponível para a polarização das unidades direcionais dos relés de sobrecorrente de terra (função 67N).

Pode-se observar o resultado de duas simulações em que foram aplicadas faltas à terra, sem resistência de falta, na barra do terminal remoto; sem a presença de geração distribuída, vide Figura 7-(a), e com geração distribuída, vide Figura 7-(b).

Percebe-se que o efeito do "infeed" é pouco efetivo em provocar subalcançe na proteção de distância de terra (ANSI 21N), sendo que a falta ainda mantém-se dentro do alcance da zona 2, e considerando que a proteção foi ajustada para o cenário que não previa a conexão de qualquer geração distribuída.

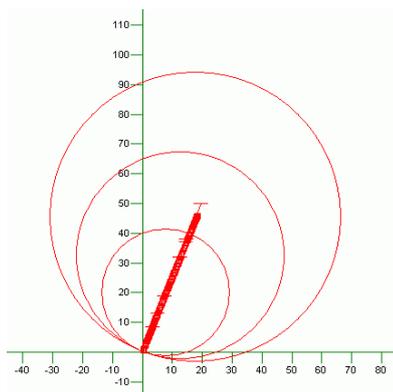


FIGURA 7-(a)

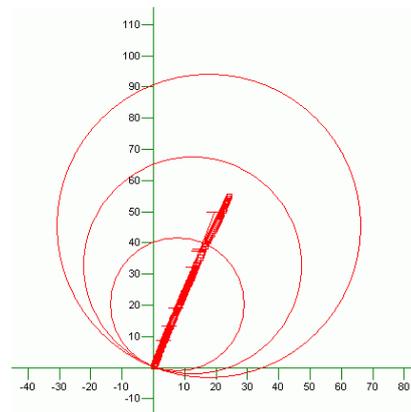


FIGURA 7-(b)

4.0 - ESTUDOS DE ESTABILIDADE TRANSITÓRIA E DINÂMICA DA PROTEÇÃO

Os estudos a seguir procuram avaliar o comportamento dinâmico da proteção 21, dos terminais de Caiçara e Iguapé, diante da aplicação de uma falta trifásica, com resistência de falta igual a 5Ω , a 80% do comprimento da linha, a partir de Caiçara, ou seja, distante 20% da barra de Iguapé. A modelagem dos geradores levou em conta o efeito das reatâncias e constantes de tempo de eixo direto e em quadratura, desde a fase subtransitória até a fase de regime permanente (síncrona), assim como o efeito da dinâmica dos reguladores de tensão (circuito de excitação).

Não foram modelados os reguladores de velocidade das máquinas primárias, uma vez que o tempo efetivo de atuação desses reguladores é bastante superior ao tempo de duração da simulação; neste caso, igual ao tempo de operação da zona 2 da proteção 21, ajustado em 500 ms pela CPFL.

A condição preliminar para o início da simulação consiste em processar o caso de fluxo de potência, com base nos dados das barras, das cargas e dos montantes de exportação, indicados na Tabela 1. As tensões pré-falta nas barras foram mantidas em 1,0 p.u, com os respectivos fluxos saindo da barra de Caiçara igual a $-37,90+j12,20$ MVA, e da barra de Iguapé igual a $12,41+j0,23$ MVA.

A Figura 8-(a) mostra a trajetória da impedância aparente, vista pela barra de Iguapé, quando a impedância sai da condição de regime permanente e caminha para a condição de defeito, para dentro da zona 1, devido à proximidade da falta com a barra de Iguapé. A trajetória da contribuição de potência aparente, vide Figura 8-(b), denota que o terminal de Iguapé vê o fluxo através da linha como uma carga de característica indutiva.

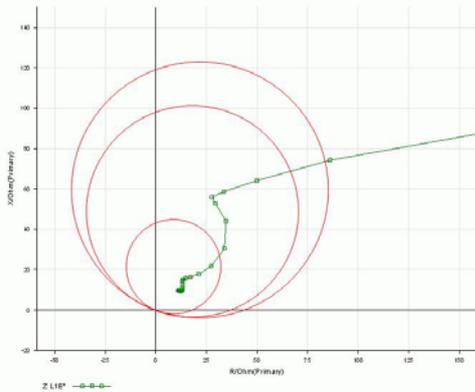


FIGURA 8-(a)

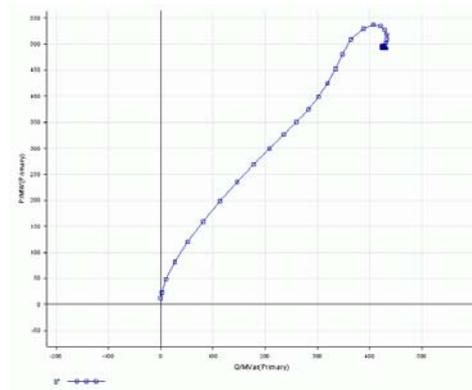


FIGURA 8-(b)

Do mesmo modo, a Figura 9-(a) mostra a trajetória da impedância aparente, vista pela barra de Caiçara, quando a impedância sai da condição de regime permanente e caminha para a condição de defeito; vê-se que, devido ao efeito do “infeed” e da resistência de falta, a impedância cai fora da zona 1, permanecendo dentro da zona 2. A trajetória da impedância durante a evolução da falta caminha do segundo quadrante em direção ao primeiro quadrante.

Esse caminho pode ser visualizado através do plano da potência complexa, vide Figura 9-(b), que mostra a contribuição de potência aparente saindo do quarto quadrante e indo para o primeiro quadrante, ou seja, inicialmente, o fluxo de potência ativa que entrava na barra de Caiçara, provocando a restrição da proteção 21, agora caminha no sentido de provocar a operação da proteção.

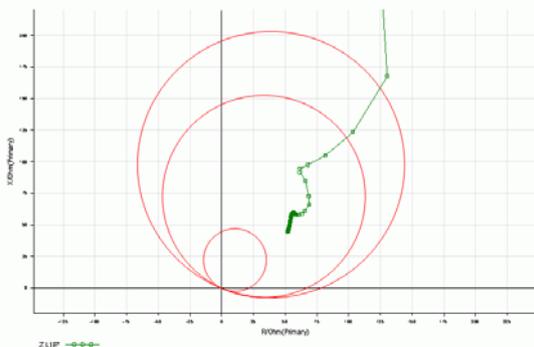


FIGURA 9-(a)

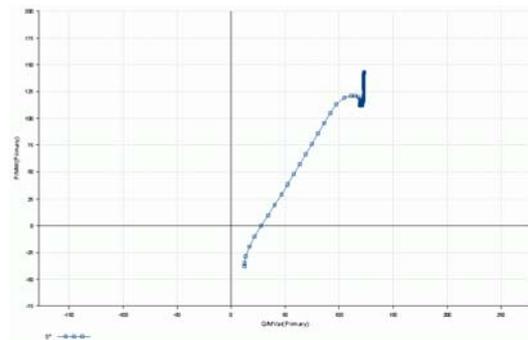


FIGURA 9-(b)

Do estudo de dinâmica da proteção, com a rede carregada, ao contrário da rede em vazio, vemos que o carregamento da rede favoreceu a proteção 21 de Caiçara, pois mesmo para uma falta resistiva a impedância aparente ainda manteve-se dentro do alcance da zona 2, em razão do sentido do fluxo de potência. Os resultados obtidos com o estudo de fluxo de potência mostram que o ângulo da tensão da barra de Caiçara está atrasado em relação ao ângulo da barra de Iguapé, logo o fluxo de potência ativa é no sentido da linha para a barra de Caiçara. Em síntese, a condição menos favorável para o alcance da proteção 21 de Caiçara, por ser Caiçara a fonte mais fraca (menor potência de curto-circuito) em comparação com Iguapé, é quando a rede está em vazio (cargas desprezadas no estudo de curto-circuito) ou quando o fluxo de potência ativa estiver saindo da barra de Caiçara, com o ângulo da tensão da barra de Caiçara adiantado em relação ao ângulo da barra de Iguapé.

5.0 - ESQUEMA DE TELEPROTEÇÃO HÍBRIDO

As linhas de transmissão de 138 kV da CPFL que operam fechadas em anel são, na sua maioria, dotadas de um esquema de teleproteção do tipo permissivo por sobrealcançe, “Permissive Overreaching Transfer Trip – POTT”, sendo a zona 2 o elemento de proteção (função 21P) encarregado de disparar o sinal permissivo ao terminal remoto, através de um enlace de microondas analógico; o esquema de teleproteção é complementado com um elemento direcional de terra (função 67NP), especializado na detecção de faltas à terra.

Logo, torna-se evidente que a conexão da geração distribuída, aliada às diversas condições de carregamento que a linha pode assumir, na presença de resistência de falta, são fatores que comprometem o desempenho da teleproteção, quando da ocorrência de faltas entre fases, pois uma falta vista pela zona 2 de um terminal pode estar fora do alcance da zona 2 do terminal remoto.

A fim de contornar este problema, optou-se em adotar um esquema de teleproteção do tipo híbrido, conjugando o esquema POTT com um esquema de transferência de disparo direto por subalcançe, “Direct Underreaching Transfer Trip – DUTT”. No esquema DUTT que foi implantado, a abertura do disjuntor do terminal remoto ocorre quando há operação dos seguintes elementos de proteção do terminal local: elementos de distância de zona 1, de fase e de terra (Z1P/Z1G), e do elemento direcional de terra instantâneo (67G1), ajustados para cobrir 80% do comprimento da linha, sem considerar o efeito do “infeed”.

De modo a viabilizar a implantação do esquema de teleproteção híbrido, os relés eletromecânicos em Caiçara, e estáticos em Iguapé, foram substituídos por relés digitais do tipo SEL-311C, um para a proteção principal e outro para a proteção de retaguarda, sendo associado a cada um destes conjuntos de proteção o mesmo esquema de teleproteção (POTT+DUTT), que utiliza equipamentos de comunicação independentes para garantir redundância do esquema em caso de falha da proteção principal, ou da retaguarda.

Devido à proximidade da Usina Santo Antônio com a subestação Iguapé, optou-se em adotar um esquema de transferência de disparo direto, “Direct Transfer Trip – DTT”, que atua na desconexão do PIE por meio de um enlace de rádio digital entre relés de proteção (1). Os relés de interconexão da Usina Santo Antônio também são do tipo SEL-311C; isso facilitou a implantação do esquema DTT, dado que os relés utilizam o mesmo protocolo de comunicação digital.

A Figura 10-(a) mostra para uma falta trifásica aplicada a 99% de Caiçara, com resistência de falta igual a 5Ω , e desprezadas as cargas da linha, que a impedância aparente vista por Caiçara sai fora do alcance da proteção 21 (curvas em vermelho); contudo, a mesma impedância de falta cai dentro da zona 1 da proteção 21 de Iguapé (curvas em azul). Ainda que o esquema de teleproteção POTT não seja ativado pela zona 2 de Caiçara, o esquema DUTT é ativado pela zona 1 de Iguapé, assegurando a abertura simultânea dos disjuntores de ambos terminais.

A Figura 10-(b) mostra, para a mesma condição anterior, porém aplicando a falta em espaços 1% do comprimento da linha, que a sobreposição entre os esquemas de teleproteção POTT e DUTT assegura uma cobertura de 100% da linha, mesmo face à resistência de falta assumida e ao efeito do “infeed” introduzido pelos PIEs.

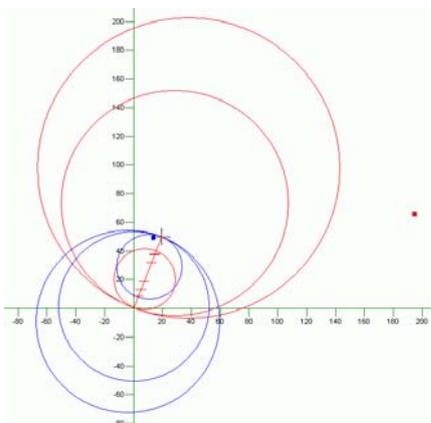


FIGURA 10-(a)

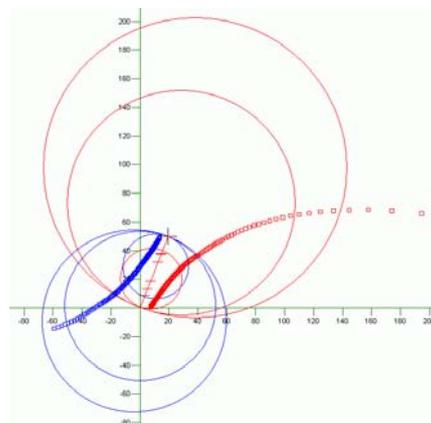


FIGURA 10-(b)

5.1 Custos de implantação do sistema de teleproteção

Os custos obtidos com a implantação do sistema de teleproteção foram os seguintes:

- “Retrofit” do sistema de proteção e controle da LT Iguapé - Caiçara 138 kV: R\$ 104.000,00.
- “Retrofit” dos equipamentos de teleproteção da LT Iguapé - Caiçara 138 kV: R\$ 130.000,00.
- Implantação do esquema de teleproteção DTT para a Usina Santo Antônio: R\$ 97.000,00.

Desta forma, o custo total de implantação do sistema de teleproteção para conectar 214,25 MVA de potência síncrona ficou em R\$ 331.000,00; sem considerar impostos e encargos sociais. Contudo, esse custo está muito aquém do volume de negócios gerados pela exportação de 81,5 MW que foi contratada junto aos PIEs.

6.0 - CONCLUSÃO

A conexão de geração distribuída, quando em derivação com linhas de transmissão, constitui um grave problema para o sistema de proteção e controle local das linhas, face ao efeito do “infeed” em provocar subbalcance nas proteções de distância. Diante do impacto que a geração distribuída representa, são necessárias alternativas que venham ao encontro dos interesses comerciais e técnicos sem, no entanto, comprometer o desempenho das proteções.

Assim sendo, após a realização dos estudos de impacto, chegou-se à conclusão que o esquema de teleproteção híbrido (POTT+DUTT), com redundância de equipamentos de teleproteção, seria a melhor alternativa capaz de manter o desempenho do sistema de proteção compatível com os indicadores estabelecidos antes da conexão dos PIEs.

Conforme citado anteriormente, ainda que um único PIE compartilhe de um enlace de teleproteção com a concessionária, as proteções de linha dos demais PIEs foram ajustadas em valores bastante restritos, a fim de assegurar que a desconexão do paralelo ocorra de maneira rápida e segura.

A figura 11 mostra os registros de oscilografia que foram coletados da Usina Santo Antônio, quando da ocorrência de um curto-circuito fase-terra a 37,5 km da subestação Iguapé; observa-se que, mesmo tendo recebido o sinal de disparo direto (“bit” COMM), o relé de proteção do PIE também detectou a falta (“bits” 59N1 e 59N2). Caso houvesse falha do esquema de teleproteção, a proteção de linha do PIE teria atuado para desfazer a conexão com a concessionária.

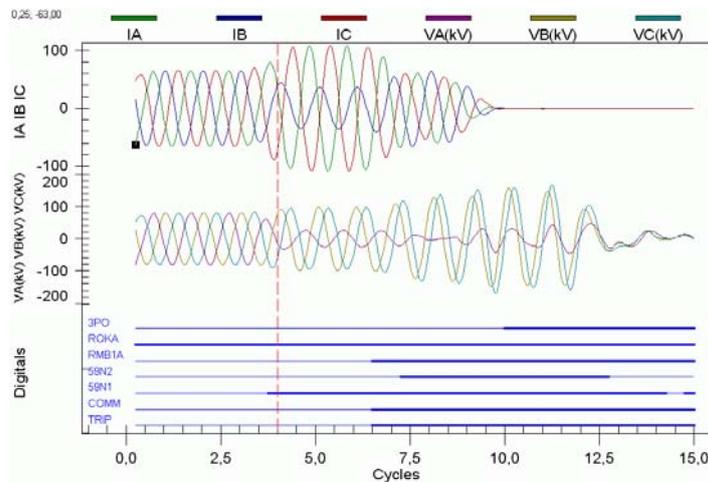


FIGURA 11 – Registros de oscilografia

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Salles, N.J., Abboud, R.L. XVII SNPTEE – Sistema de Teleproteção para Desconexão de Autoprodutores Usando Rádio Digital “Spread Spectrum” com Protocolo “Mirrored Bits”.
- (2) Henville, C., Hiebert, A., Folkers, R., Wierckx, R. Dynamic Simulations Challenge Protection Performance; SEL Application Guide – AG6156.
- (3) Turbay, J.C. Empleo del EMTF para los Estudios de Estabilidad Transitoria con Especial Atención al Modelado de los Sistemas de Control de la Excitación; UTN – Facultad Regional Santa Fe (GISEP) – Argentina.
- (4) Barker, P.P., Johnson, B.K. Power System Modeling Requirements for Rotating Machine Interfaced Distributed Resources; IEEE PES Summer Power Meeting, 2002.
- (5) Tziouvaras, D.A., Hou, D. Out-Of-Step Protection Fundamentals and Advancements; SEL Application Guide – AG6163.